Journal of Agricultural Machinery

Homepage: https://jame.um.ac.ir

CC BY

Research Article
Vol. 13, No. 2, 2023, p. 117-133

Design and Construction of a High-voltage System to Kill Weeds with a Feedback Mechanism

B. Besharati[1], A. Jafari[1*], H. Mousazadeh[1], H. Navid[2]

1- Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran
2- Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
(*- Corresponding Author Email: jafarya@ut.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jam.2021.70524.1051

Received: 28 June 2021 Revised: 30 July 2021 Accepted: 08 August 2021 Available Online: 10 August 2021	**How to cite this article:** Besharati, B., Jafari, A., Mousazadeh, H., & Navid, H. (2023). Design and Construction of a High-voltage System to Kill Weeds with a Feedback Mechanism. *Journal of Agricultural Machinery*, *13*(2), 117-133. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jam.2021.70524.1051

Introduction

Various methods have been performed to control weeds in the world and the use of herbicides is one of them, but public concerns about human health have changed interest in alternative methods. Thermal methods based on flame-weeder, hot air, steam, and hot water have the potential to control weeds, but due to the high cost are not economical. Electromagnetic waves transfer energy into weeds and finally destroy them. The effect of radiation on plant mutation, high consumption of energy, and human health are problems for this approach. Unlike other methods, electrical energy is an ideal and non-chemical method for weeds. This method applies high voltage to weeds, their roots, and soil so that electric currents pass through them, and the vaporization of the liquid content of weeds kills the weeds. To increase the severity of damage to weeds, the development of a feedback mechanism is required. The ultrasonic sensor measuring physical parameters like plant height is a simple method. Some complex sensing systems include optical sensors such as infrared, and machine vision that require high-speed processors and expensive equipment. In this project, as a simple method, the monitoring of the electrical current passing through weeds was used for developing the feedback mechanism and increasing electric damage to weeds.

Materials and Methods

In this study, the system consisted of a high-voltage device that generated a 15 kV AC voltage to kill weeds, as well as a feedback mechanism that included a sensor to measure the electric current on the input of the weed killer and identify the presence of weeds and their annihilation. All parts were installed on a robotic platform, and an application on a laptop was connected to it via an access point for navigation and data reception. The system was tested in a greenhouse lab with various weeds. Initially, a test was performed to investigate the effect of high voltage on the weeds and establish relationships between the electric currents passing through weeds and their presence (before and after annihilation). During the test, the system was guided along a path and applied high voltage to kill the weeds. The feedback mechanism was then calibrated based on the extracted data on electric current relations. This allowed the system to detect weeds and their annihilation, enabling it to move to the next target once a weed had been eliminated. After calibration, a comparative test was conducted to evaluate the weed-killing efficiency of the two methods (with and without the feedback mechanism), and the results were analyzed using a t-test with $p \leq 0.01$.

Results and Discussion

The observations indicated that the input electric current on the weed killer was dependent on the electric current passing through weeds. When the high-voltage electrode touched a weed, the electric current passed through it increased, and simultaneously, the high electrical energy destroyed the weed. After the removal of the weed, the electric current rapidly decreased. The average energy consumption per weed plant was estimated to

be 250 joules, which can be compared with other methods. The final test comparing the use and non-use of the feedback mechanism revealed significant differences ($P < 0.01$) between the results obtained with and without the mechanism, demonstrating that the feedback mechanism increased the efficiency of weed annihilation. The sensing system used in the developed feedback mechanism is a simple method that is affected by the electrical resistivity of weeds. As such, it did not mistakenly detect other objects as weeds, unlike an ultrasonic mechanism. Based on these results, monitoring the electrical current passing through weeds proved to be a suitable method for developing a feedback mechanism for the weed killer to identify the presence of weeds and their annihilation.

Conclusion

The use of high voltage as a non-chemical and alternative method for weed control has shown promising results. The study revealed that measuring the electric current applied to the weed killer was an effective and straightforward approach to developing a feedback mechanism. This mechanism aids in identifying the presence of weeds and ensuring their elimination by intensifying the damage inflicted on them through the application of high electrical energy. To further enhance the efficiency and speed of weed control, future research should consider integrating an automatic guidance mechanism with the weed killer.

Keywords: Annihilator, Electric current, High-voltage, Identification, Weed

نشریه ماشین‌های کشاورزی
https://jame.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۱۳، شماره ۲، تابستان ۱٤۰۲، ص ۱۳۳-۱۱۷

طراحی و ساخت سامانه ولتاژ بالا برای نابودی علف‌های هرز با سازوکار بازخوردی

بهرام بشارتی[۱]، علی جعفری[۱*]، حسین موسی‌زاده[۱]، حسین نوید[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۱۷

چکیده

در این پژوهش، سامانه‌ای شامل یک افزاینده ۱۵ کیلوولتی برای از بین بردن علف‌های هرز و یک سازوکار بازخوردی برای تشخیص علف‌هرز و نابودی آن با استفاده از پایش جریان الکتریکی مصرفی نابودگر علف‌هرز در گروه ماشین‌های کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (سال ۱۳۹۹) توسعه داده شد. اجزای این سامانه بر روی یک سکوی رباتیک خودگردان نصب شد که اطلاعات را بین نرم‌افزار رایانه‌ای و سامانه انتقال می‌داد. طبق شواهد هنگامی که الکترود ولتاژ بالا علف‌های هرز را لمس می‌کرد، جریان افزایش یافته و پس از نابودی علف‌های هرز، جریان کم می‌شد. متوسط انرژی مصرفی برای یک علف هرز ۲۵۰ ژول تخمین زده شد. بر مبنای مقدار جریان مصرفی، سازوکار بازخوردی برای تشخیص و دریافت بازخورد از نابودی علف‌های هرز واسنجی شد. آزمایش های نهایی برای مقایسه کارایی کنترل دو حالت کاری استفاده و عدم استفاده از سازوکار بازخوردی انجام شد و مشخص شد که استفاده از این سازوکار به شکل معنی‌داری کارایی نابودگر علف هرز را افزایش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: تشخیص، جریان الکتریکی، علف هرز، نابودگر، ولتاژ بالا

مقدمه

افزایش جمعیت و در پی آن تقاضا برای افزایش بازده زمین‌های کشاورزی و سطح زیر کشت محصول باعث شده است تا اهمیت کنترل علف‌های هرز بیش از پیش افزایش یابد. علف هرز گیاه خاص و مشخصی نیست که ذاتاً علف هرز باشد، بلکه به‌دلیل غیر مفید بودن، ضرر و زیان ناشی از آن کاملاً ناخواسته است و برخلاف انتظار کشاورز در مزرعه یا گلخانه رشد و نمو می‌کند (Paap, 2014). علف‌های هرز بر سر منابع رشد شامل آب، عناصر غذایی خاک و نور خورشید با گیاهان زراعی رقابت می‌کنند و معمولاً نسبت به گیاه اصلی رشد سریع‌تر، توقع کمتر و تعداد بذرهای بیشتری دارند. همچنین آن‌ها ماندگاری و طول عمر زیادتری دارند و در نتیجه به‌دلیل اثرات مخرب منجر به افت بازده زمین زراعی می‌شوند. در مواردی علف‌های هرز به دلیل داشتن توانایی بقای زیاد با روش‌های معمولی مبارزه نابود نمی‌شوند (Slaughter, Giles, & Downey, 2008). حذف و کنترل علف‌های هرز نیازمند سرمایه‌گذاری در بخش تجهیزات، نیروی انسانی و علف‌کش‌ها است که افزایش هزینه تولید محصولات زراعی را در پی دارد. مبارزه یا کنترل، درجه‌ای از مدیریت علف‌های هرز می‌باشد که در آن فراوانی علف‌های هرز در حدی باشد که برای گیاه اصلی مزاحمتی ایجاد نکند و باعث افت بازده محصول و مانع عملیات کشاورزی نشود (Utstumo *et al.*, 2018).

استفاده از ترکیبات شیمیایی یکی از روش‌های رایج برای مبارزه با علف‌های هرز است که اثرات مخربی بر خاک، تنوع زیستی، آب‌های زیرزمینی، سلامت انسان و به‌طور کلی بر زنجیره غذایی دارد و همچنین در برخی موارد باعث می‌شود که گیاهان هرز به ماده شیمیایی مقاوم شوند. نگرانی‌های عمومی در مورد استفاده از آن، علایق محققان را به روش‌های جایگزین تغییر داده است (Peltzer *et al.*, 2009). از دیگر روش‌های مبارزه، کنترل فیزیکی علف‌های هرز با استفاده از گاوآهن‌ها، دیسک‌ها، وجین‌کن‌های دوار و سایر ادوات مکانیکی کشاورزی است. وجین فیزیکی با ابزار مکانیکی تنها علف‌های هرز را قطع یا جابه‌جا می‌کند و بنابراین امکان رشد مجدد

۱- گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۲- گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: jafarya@ut.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jam.2021.70524.1051

وجود دارد. در کوتاه‌مدت، این روش‌ها می‌توانند رشد علف‌های هرز را متوقف یا کاهش دهند ولی در درازمدت آن‌ها می‌توانند جمعیت علف‌های هرز را افزایش دهند و برای محصول اصلی مشکل ایجاد کنند (Bond & Grundy, 2001). در روش کنترل زیستی[1]، معمولاً از دشمنان طبیعی علف‌های هرز چون حشرات، قارچ‌ها، ویروس‌ها، باکتری‌ها، بی‌مهرگان و مهره‌داران برای مبارزه با آن‌ها استفاده می‌کنند و تراکم علف‌های هرز را در سطح اقتصادی نگه می‌دارند. عده‌ای موافق و عده‌ای مخالف این روش مبارزه می‌باشند. موافقان معتقدند که در این روش از مواد شیمیایی استفاده نمی‌شود و فقط یک‌بار پخش حشرات برای مبارزه با علف‌های هرز کافی است. مخالفان این روش می‌گویند که مبارزه به روش زیستی علف‌های هرز را کاملاً نابود نمی‌کند و عوامل کنترلی برای استفاده در این روش نایاب است (Morin, 2020). شعله‌افکنی نیز در برخی موارد برای محصولات ردیفی استفاده شده است که می‌تواند جایگزینی برای سموم علف‌کش در نابودی علف‌های هرز جوان باشد. در این روش سوخت مایع یا گازی زیاد استفاده می‌شود و هدررفت انرژی را به‌دنبال دارد و امکان نشت شعله به ردیف گیاهان اصلی وجود دارد و لذا کنترل سطح شعله حائز اهمیت است. همچنین به ریشه علف‌های هرز صدمه‌ای وارد نمی‌شود که رشد مجدد گیاه را میسر می‌سازد (Slaughter *et al.*, 2008). روش‌های حرارتی کنترل علف‌های هرز مبتنی بر هوا، بخار و آب داغ روش‌های جایگزینی برای جلوگیری از خطرات مربوط به آتش‌سوزی شعله‌افکنی هستند و به اندازه همان روش در کنترل و مدیریت علف‌های هرز موثر می‌باشند. در مواردی که استفاده از علف‌کش مجاز نیست یا روش‌های دیگر اثرات کمتری دارند می‌توانند روش‌های جایگزینی باشد. اما به‌دلیل اتلاف انرژی حرارتی بالا و هزینه اولیه سرمایه‌گذاری برای ساخت مقرون به صرفه نیستند (Rask & Kristoffersen, 2007). امواج الکترومغناطیسی با انرژی بالا مانند مایکروویو، مادون‌قرمز و اشعه ماوراء بنفش می‌توانند دمای علف‌های هرز را افزایش دهند و آن‌ها را از بین ببرند. این تشعشعات هیچ‌گونه باقی‌مانده شیمیایی در خاک نمی‌گذارند و خطر آتش‌سوزی ندارند. گرچه این روش یک روش غیرشیمیایی برای مدیریت علف‌های هرز است اما مصرف انرژی به دلیل حرارت انتقالی به خاک زیاد است و هنوز اقتصادی نمی‌باشد. همچنین تأثیر اشعه بر جهش ژنی گیاهان و سلامت انسان از مواردی است که باعث می‌شود راهی مناسب برای مدیریت علف‌های هرز نباشد (Astatkie *et al.*, 2007). استفاده از نور لیزر برای آسیب رساندن به علف‌های هرز یکی دیگر از روش‌های حرارتی است که دارای چگالی انرژی بالا و متمرکز است و هدررفت کمتری نسبت به سایر روش‌ها حرارتی دارد. حذف بخش زایشی گیاه توسط لیزر، باعث کاهش رشد گیاه می‌شود و در برخی موارد اثرات کشنده‌ای روی گونه‌های علف‌های هرز دارد ولی پژوهش‌ها نشان داده است که پرتودرمانی با لیزر می‌تواند رشد علف‌های هرز را به عقب بیاندازد اما آن‌ها را کاملاً از بین نمی‌برد (Marx, Barcikowski, Hustedt, Haferkamp, & Rath, 2012). امروزه انرژی الکتریکی کاربردهای وسیعی را در صنایع مختلف به خود اختصاص داده است. ایده استفاده از این انرژی برای از بین بردن علف‌های هرز به چندین دهه سال پیش برمی‌گردد. برخی از پژوهشگران معتقدند استفاده از آن یک راه ایده‌آل، محیط زیست‌خواه و غیرشیمیایی برای کنترل علف‌های هرز جوان است. جریان ولتاژ بالا بر ریشه تاثیر می‌گذارد و امکان رشد مجدد را محدود می‌سازد. این روش هیچ‌گونه مواد شیمیایی را به محیط‌زیست و زنجیره مواد غذایی منتقل نمی‌کند و باعث اختلاط مواد مضر در خاک یا ایجاد فرسایش نمی‌شود تبدیل شدن انرژی ولتاژ بالا به حرارت تنها با ایجاد مقاومت الکتریکی مانند بوته علف هرز در مسیر جریان الکتریکی ایجاد می‌شود و مانند روش شعله‌افکنی نیاز به ایجاد شعله ندارد و امکان نشت حرارت و آتش‌سوزی به آن شدت میسر نمی‌باشد. انتقال توان و کنترل ابزار نابودگر علف هرز سهولت بیشتری در مقایسه با روش‌های دیگر دارد و ابزار حجم کمتری را اشغال می‌کند (Vigneault & Benoît, 2001). در پژوهش‌های متعددی از انرژی الکتریکی برای نابودی علف‌های هرز استفاده شده است. در نخستین پژوهش، از انرژی ولتاژ بالا (سطح ولتاژی ۵ و ۱۵ کیلو ولت) برای از بین بردن علف‌های هرز استفاده شد. به‌طوری که نرخ ولتاژی بیشتر شدت و سرعت نابودی بیشتری را در علف‌های هرز ایجاد کرد. این تحقیق نشان داد که کنترل علف‌های هرز یک روش سریع و قابل رقابت با روش‌های شیمیایی است (Diprose, Benson, & Willis, 1984). در تحقیقی از یک روبات دارای یک الکترود با ولتاژ تخلیه ۱۵ کیلوولت برای نابودی علف‌های هرز و همچنین یک سامانه ماشین بینایی برای تشخیص علف‌های هرز در محصول کاهو استفاده شد. این سامانه قادر به از بین بردن همه علف‌های هرز جوان بود، اما به علف‌های هرز بزرگ‌تر فقط نوعی آسیب به برگ‌ها وارد کرد (Blasco, Aleixos, Roger, Rabatel, & Moltó, 2002). در پژوهشی دیگر از تخلیه الکتریکی با ولتاژهای ۴۴۰۰ و ۶۸۰۰ ولت برای کنترل علف‌های هرز در محصول سویا استفاده شد که بازده محصول را افزایش داد (Brighenti & Brighenti, 2009). در پژوهشی دیگر علف‌های هرز جوان روی تخته آزمایشگاهی قرار گرفتند و جریان توسط الکترودهای مسی در بوته‌ها برقرار شد. بوته‌ها تحت ولتاژهای ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ ولتی در طی زمان‌های مختلف تحت اثر انرژی الکتریکی قرار گرفتند. نتایج مشخص کرد که با افزایش زمان اثر یا مقدار ولتاژ، تغییرات معناداری در تعداد نابودی بوته‌ها مشاهده می‌شود (Sahin & Yalınkılıc, 2017).

1- Biological control

روش استفاده از الکتریسیته به‌عنوان روش مورد مطالعه پژوهش به نظر می‌رسد نیازمند تجهیزات جانبی و کنترلی است که بتواند فرایند نابودی علف‌های هرز را به‌صورت موضعی انجام دهد تا درصد نابودی علف‌های هرز افزایش یابد و همچنین انرژی اتلاف نشود. با توجه به این‌که باید سامانه‌های علف‌کش، پوشش گیاهی زنده را هدف قرار دهند و باعث تبدیل توده گیاهی زنده به غیرزنده شوند، بررسی روش‌های مختلف تشخیص پوشش گیاهی می‌تواند کمکی برای پیش‌برد این پژوهش باشد. ساده‌ترین سازوکار برای تشخیص پوشش گیاهی، میله آونگی متصل به یک مقاومت متغیر است که با حرکت روی پوشش گیاهی ولتاژ متناسب با حجم آن پوشش را ایجاد می‌کند (Ehlert, Hammen, & Adamek, 2003). در پژوهش‌هایی عناصر فراصوت نیز به‌کار گرفته شد به‌نحوی که با ارسال امواج فراصوت به سمت بوته‌ها و سپس دریافت امواج بازتابی توسط حسگر فراصوت و استخراج داده‌های حاصل از آن، توصیف مشخصات فیزیکی مانند اندازه برگ‌ها و ارتفاع بوته‌ها مهیا گردید (Legg & Bradley, 2020). روش‌های دیگر استفاده از حسگرهای نوری مانند حسگر اشعه مادون‌قرمز و طیف‌های نزدیک به آن، لیدار[1]، ماشین بینایی و یا ترکیبی از آن‌ها می‌باشد. بوته گیاه زنده در مقایسه با اجسام غیرزنده (گیاه پژمرده، گیاه مرده و خاک) در طول امواج بازتابی تفاوت معنی‌داری دارد که به دلیل این ویژگی خاص، طیف‌سنجی اشعه مادون‌قرمز و اشعه‌های نزدیک به آن برای تشخیص پوشش گیاهی مورد توجه قرار گرفته است (Dworak *et al.*, 2013). حسگر نوری لیدار با تابانیدن نور لیزر، پوشش گیاهی در جهات مختلف پایش و اندازه‌گیری می‌شود. این روش مانند روش فراصوتی مشخصات فیزیکی را ارائه می‌دهد ولی چون در جهات مختلف پایش انجام می‌شود نسبت به آن برتری دارد (Yuan *et al.*, 2018). در مواردی ماشین بینایی برای تصویرسازی از پوشش گیاهی استفاده شده است ولی به علت تراکم نرخ بالای داده‌های حسگر تصویر در عملیات‌های برخط، به سخت‌افزار و پردازش‌گر پرسرعت و پرهزینه نیازمند هستند (Birrell, Hughes, Cai, & Iida, 2020).

در حالت کلی روش‌های ساده‌تر بر روش‌هایی پیچیده و پر هزینه اولویت دارند. از طرفی حسگر و فرآیندی می‌تواند از کارایی کنترل علف هرز بازخورد ایجاد کند که داده‌های دریافتی از حسگر مربوطه امکان تشخیص گیاه مرده را از زنده به‌صورت برخط مهیا سازد و در عین حال از ساده‌ترین سازوکار پردازش و سخت‌افزار برخوردار باشد. با توجه به الزامات یادشده برای پایش عملیات نابودی علف‌های هرز توسط انرژی الکتریکی، هدف این پژوهش توسعه یک نابودگر ولتاژ بالا علف‌هرز دارای سازوکار بازخوردی است. سازوکار بازخوردی توسعه‌یافته از اندازه‌گیری جریان الکتریسته مصرفی منبع ولتاژ بالا استفاده می‌کند تا بتواند وجود بوته علف هرز و نابودی آن را پایش کند.

1- LIDAR (Light detection and ranging)

مواد و روش‌ها

ساختار اصلی نابودگر علف‌های هرز با سازوکار بازخوردی

طرح‌واره اصلی برای نابودگر ولتاژ بالا علف‌های هرز با سازوکار بازخوردی در شکل ۱ نمایش داده شده است. ساخت و آزمایش این نابودگر علف هرز در گروه ماشین‌های کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (سال ۱۳۹۹) انجام شده است. در این سامانه عامل اصلی نابودی علف‌های هرز ولتاژ ۱۵ کیلوولتی است که توسط الکترودها از دو سمت به بوته علف هرز اعمال می‌شود. یک سمت جریان از طریق دو عدد دیسک (الکترود زمین) به خاک نفوذ می‌کند تا احتمال همپوشانی جریان بیشتر باشد و سمت دیگر جریان از طریق الکترود هوایی (الکترود ولتاژ بالا) به سمت بوته می‌رسد. با فاصله‌ای که بین بوته و الکترود هوایی وجود دارد قوس الکتریکی ایجاد می‌شد و علف هرز نابود می‌شود. در ابتدای مجموعه از یک ماژول افزاینده (اینورتر[2] ۱۵۰ واتی، ۲۰ کیلوهرتز پالس مربعی) استفاده شد. این ماژول ۱۲ ولت جریان مستقیم را به ۲۰۰ ولت جریان متناوب تبدیل می‌کند. در مرحله بعدی برای افزایش ولتاژ، ترانس افزاینده ولتاژ بالا (سوئیچینگ[3] ۱۲۵ وات با حداکثر جریان خروجی ۳۰ میلی‌آمپر)، ولتاژ ۲۰۰ ولت متناوب را به ولتاژ تقریباً ۱۵ کیلوولت متناوب تبدیل می‌کند. این نوع افزاینده به علت وجود بخش پیش‌افزایشی الکترونیکی از نوع سوئیچینگ مبتنی بر نیمه‌هادی، از وزن کمتری نسبت به نوع ترانس‌های سیم‌پیچی برخوردار است و بازده بالاتری هم نسبت به آن‌ها دارد.

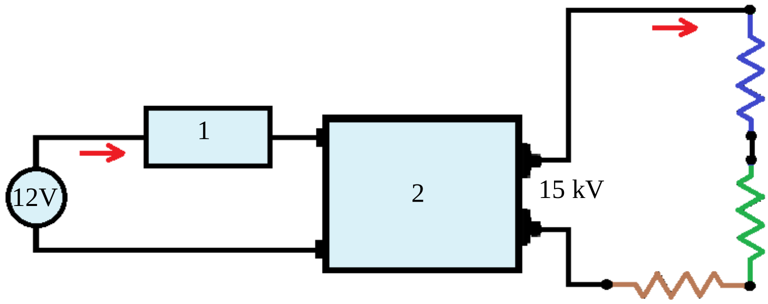
برای ایجاد سازوکار بازخوردی و پایش جریان مصرفی مجموعه افزاینده ولتاژ بالا، از ماژول حسگر جریان الکتریسیته (ACS712) استفاده شد. این ماژول از یک تراشه و دو عدد خازن فیلتر نویزگیر تشکیل شده است که قابلیت اندازه‌گیری جریان‌های مستقیم و متناوب تا حداکثر جریان ۳۰ آمپر را دارد. به علت ساده‌تر بودن تحلیل جریان مستقیم نسبت به متناوب، ماژول در بخش ابتدایی نصب شده است. تراشه از ویژگی اثر هال[4] برای اندازه‌گیری جریان الکتریسیته استفاده می‌کند و مقدار جریان عبوری از خود را به ولتاژ آنالوگ تبدیل می‌کند که با اتصال به بخش مبدل آنالوگ به دیجیتال میکروکنترلر، قابل خواندن و تبدیل به مقدار عددی جریان الکتریسیته می‌شود. با پایش جریان مصرفی مجموعه ولتاژ بالا، تشخیص علف هرز و نابودی یا عدم نابودی آن فراهم می‌شود.

2- Inverter
3- Switching transformer
4- Hall effect



شکل ۱- طرحواره اصلی نابودگر ولتاژ بالا علف هرز با سازوکار بازخوردی (۱- ماژول حسگر جریان، ۲- ماژول افزاینده ۲۰۰ ولتی، ۳- ترانس افزاینده ۱۵ کیلوولتی، ۴- الکترود ولتاژ بالا، ۵- علف‌هرز، ۶- الکترود زمین)

Fig.1. The main scheme of the high-voltage weed killer with the feedback mechanism (1- Electric current sensor, 2- 200V booster module, 3- 15kV booster transformer, 4- High voltage electrode, 5- Weed, 6- Ground electrode)



شکل ۲- مدار الکتریکی معادل برای نابودگر علف‌هرز و حسگر جریان الکتریکی (۱- ماژول حسگر جریان، ۲- مجموعه افزاینده ولتاژ بالا)

Fig.2. The equivalent circuit for the weed killer and the electric current sensor (1- Electric current sensor, 2- High voltage booster set)

مدار الکتریکی معادل برای طرحواره اصلی سامانه نابودگر (شکل ۱)، در شکل ۲ به تصویر کشیده شده است. با توجه به ماهیت مدار الکتریکی، در حالت ایده‌آل توان ورودی (P_{in}) و توان خروجی (P_{out}) در مجموعه افزاینده ولتاژ بالا برابر می‌باشد ولی در حالت واقعی اتلاف توان (P_{loss}) حرارتی و مغناطیسی وجود داشته و بازده کامل نمی‌باشد و رابطه (۱) برقرار است:

$$P_{in}=P_{out}+P_{loss} \quad (۱)$$

بنابراین توان ورودی متأثر از توان خروجی و اتلافی است، با صرف‌نظر کردن از توان اتلافی رابطه (۲) بیان می‌شود:

$$P_{in}\approx P_{out} \quad (۲)$$

و با اعمال ولتاژ ورودی، رابطه (۲) طبق جریان الکتریکی عبوری از حسگر (I_s) و علف هرز (I_w) و ولتاژ بالای اعمالی به آن، رابطه (۳) را تشکیل می‌دهد:

$$۱۲\times I_s\approx ۱۵\times ۱۰^{۳}\times I_w \quad (۳)$$

با توجه به رابطه (۳) جریان الکتریکی عبوری از حسگر متأثر از جریان الکتریکی عبوری از علف هرز است و بنابراین رابطه (۴) تعریف می‌شود:

$$I_s=f(I_w) \quad (۴)$$

طبق مدار الکتریکی شکل ۲ جریان الکتریکی عبوری از علف هرز به برآیند مقاوت الکتریکی علف هرز (R_w)، خاک (R_s) و هوای آزاد (R_a) وابسته است و رابطه (۵) که R_t در آن مقاومت الکتریکی برآیند است، بیان می‌گردد:

$$I_w=g(R_t) \quad (۵)$$

زمانی‌که الکترود ولتاژ بالا در موقعیت ثابت روی بوته علف هرز است، می‌توان R_a و R_s را مقداری ثابت دانست و رابطه (۶) را تشکیل داد:

$$I_w=q(R_w) \quad (۶)$$

با استفاده از رابطه (۴) و رابطه (۶)، رابطه (۷) تشکیل می‌شود:

$$I_s=h(R_w) \quad (۷)$$

طبق رابطه (۷) جریان الکتریکی عبوری از حسگر به مقاومت

الکتریکی علف هرز وابسته بوده و با اندازه‌گیری مقدار جریان الکتریکی، سامانه از وجود علف هرز و نابودی آن اطلاع می‌یابد و در حقیقت یک سازوکار بازخوردی را برای آن تشکیل می‌دهد.

سکوی روباتیک خودگردان

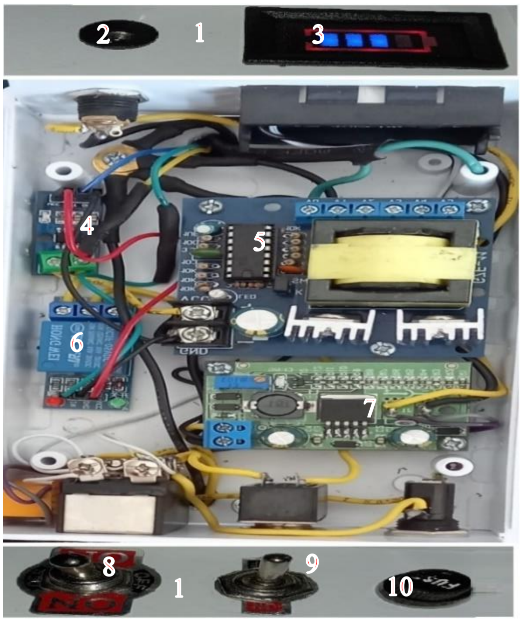
برای انجام آزمایش‌های نابودی علف‌هرز با ولتاژ بالا و به‌دست آوردن داده‌هایی جهت انجام واسنجی سازوکار بازخوردی، سکوی روباتیک خودگردان شکل ۳ ساخته شد. شکل کلی سکو شبیه میز چهارپایه چرخ‌دار است و تمامی تجهیزات الکترونیکی و مکانیکی مورد نیاز بر روی آن سوار شده است. طراحی به‌نحوی صورت گرفته است که حداکثر فضای خالی زیری سکو مهیا شده باشد تا بتواند از بالای سر علف‌های هرز حرکت کند. برای ساخت سکو از قوطی‌های آلومینیومی به ابعاد ۳۵×۳۵ میلی‌متر و ۳۵×۵۰ میلی‌متر استفاده شد. اتصالات قوطی‌های آلومینیومی توسط پیچ‌های آلن شماره ۴ و براکت تأمین گردیده که از استحکام مناسبی برخوردار است. ارتفاع سکو ۳۰ سانتی‌متر، طول و عرض آن ۲۷ سانتی‌متر می‌باشد. سکو دارای چهار چرخ پلاستیکی با بوش فلزی به قطر ۱۰ سانتی‌متر و عرض ۲/۵ سانتی‌متر است. چرخ‌های عقبی به‌صورت آزاد دوران و فرمان‌گیری داشته ولی چرخ‌های جلویی این قابلیت را نداشته و حرکت دورانی خود را از موتور دنده‌ای ۱۲ ولتی (JGY-370) دریافت می‌کردند. فرمان‌گیری دستگاه با معکوس شدن حرکت دورانی موتورهای دنده‌ای (موتورهای متصل به چرخ‌های جلویی) نسبت به هم انجام می‌شد. حداکثر گشتاور و سرعت بدون‌بار موتورها به‌ترتیب برابر یک نیوتن‌متر و ۹۰ دور بر دقیقه است. دو عدد سروموتور دنده فلزی (MG995) برای بالا و پایین بردن میله الکترود ولتاژ بالا استفاده شد. حداکثر گشتاور و سرعت بدون‌بار سروموتورها به‌ترتیب برابر ۱/۳ نیوتن‌متر و ۶۰ دور بر دقیقه می‌باشد. طول کلی الکترود ولتاژ بالا، ۳۶ سانتی‌متر و طول مؤثر آن ۲۵ سانتی‌متر است. افزاینده ولتاژ بالا در جلوی دستگاه نصب گردیده و ولتاژ ۱۵ کیلوولتی را توسط کابل‌های دی‌الکتریک بالا به الکترودهای زمین و الکترود ولتاژ بالا می‌رساند. در زمان انجام آزمایش‌ها، الکترود زمین با خاک و الکترود ولتاژ بالا با علف‌های هرز در تماس بود.

مدارات الکترونیکی سامانه شامل ماژول اینترنت اشیاء (Wemos D1 mini V2)، میکروکنترلر (Atmega328p) و راه‌انداز موتورهای دنده‌ای (L298N) در جعبه‌پردازش (شکل ۴-a) به ابعاد ۱۰/۵×۷/۵×۳/۶ سانتی‌متر نصب شد و سایر موارد مانند اینورتر، حسگر جریان الکتریکی (ACS712)، رله، ماژول‌های تغذیه و شارژر باتری در جعبه تغذیه (شکل ۴-b) به ابعاد ۱۶×۱۰×۵ سانتی‌متر قرار گرفت.

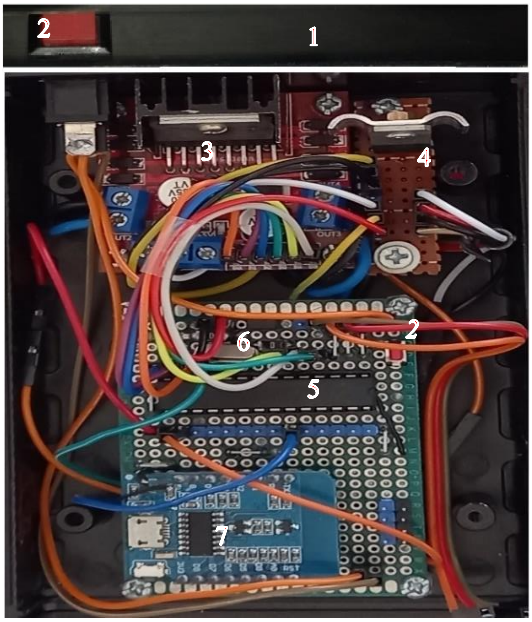


شکل ۳- سکوی روباتیک خودگردان برای نابودگر علف هرز با سازوکاز بازخوری (۱- افزاینده ولتاژ بالا، ۲- جعبه پردازش، ۳- جعبه تغذیه، ۴- باتری، ۵- سروموتور، ۶- موتور دنده‌ای، ۷- الکترود ولتاژ بالا، ۸- الکترود زمین، ۹- کلیدهای روشن و خاموش، ۱۰- فیوز، ۱۱- دکمه راه‌اندازی مجدد)

Fig.3. The self-propelled robotic platform of the weed killer with the feedback mechanism (1- High-voltage booster, 2- Processing box, 3- Supply box, 4- Battery, 5- Servo motor, 6- Gear motor, 7- High-voltage electrode, 8- Ground electrode, 9- on/off switches, 10- Fuse 11- Restart button)



(a)



(b)

شکل ٤- (a) جعبه تغذیه (۱- نمای جانبی، ۲- جک ورودی ۱۲ ولت، ۳- نشانگر میزان شارژ باتری، ۴- ماژول حسگر جریان، ۵- ماژول افزاینده ۱۲ ولت به ۲۲۰ ولت، ۶- ماژول رله، ۷- ماژول شارژ باتری، ۸- کلید سه‌حالته، ۹- کلید دوحالته، ۱۰- فیوز)، (b) جعبه پردازش (۱- نمای جانبی، ۲- کلید راه‌اندازی مجدد، ۳- ماژول راه‌انداز موتور، ۴- رگولاتور ۵ ولت، ۵- میکروکنترلر Atmega328p، ۶- کریستال نوسان‌ساز ۱۶ مگاهرتز، ۷- ماژول اینترنت اشیاء Wemos D1 mini V2)

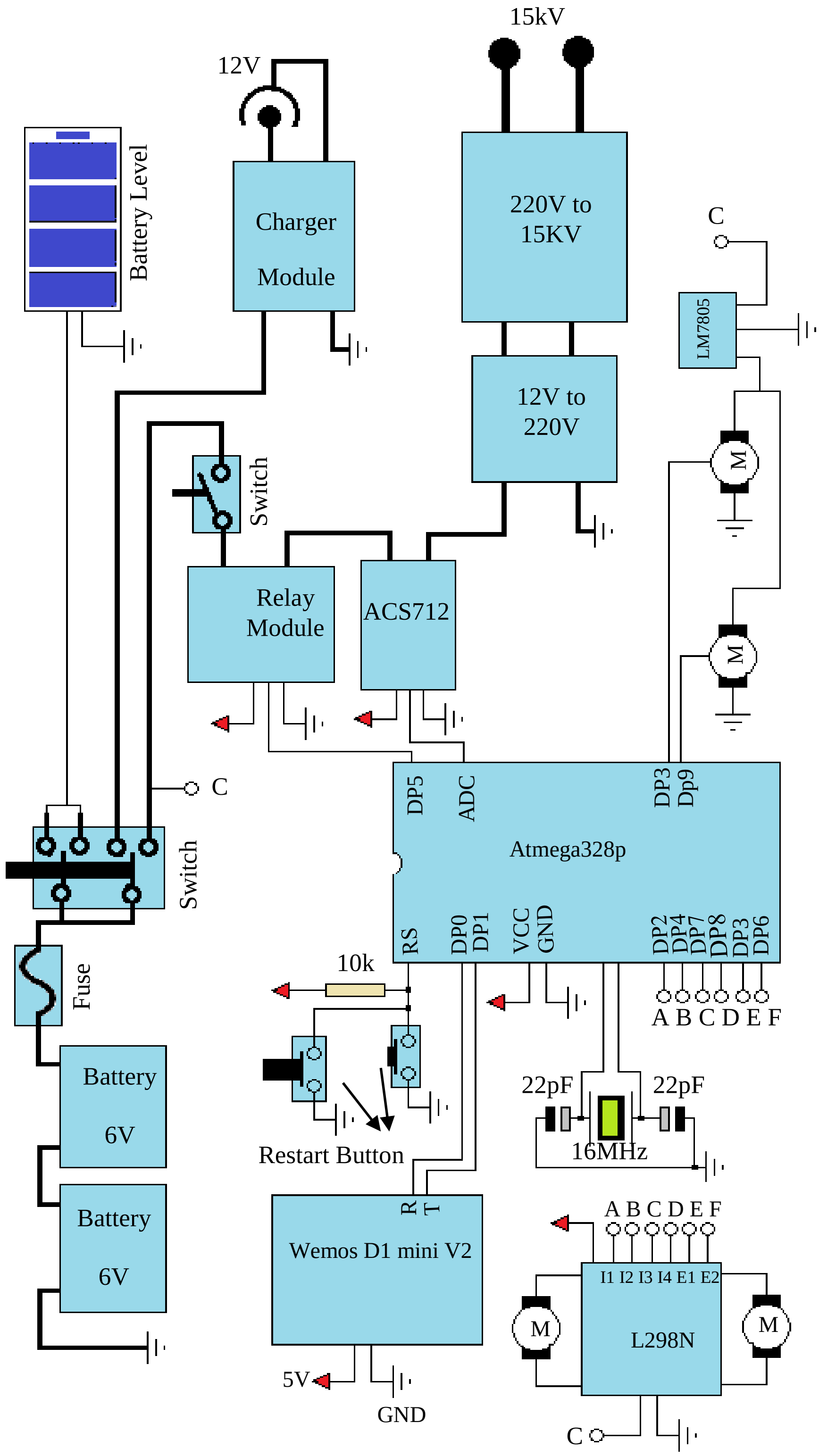
Fig.4. (a) Supply box (1- Side view, 2- Input jack, 3- Battery charge indicator, 4- Electric current sensor module, 5- 12 to 220V booster module, 6- Relay module, 7- Battery charging module, 8- Tri-state switch, 9- Two-state switch, 10- Fuse), (b) Processing box (1- Side view, 2- Restart button, 3- Motor driver module, 4- 5V regulator, 5- Atmega328p microcontroller, 6- 16 MHz crystal oscillator, 7- Wemos D1 mini V2 IoT module)

دو عدد باتری اسیدی قابل شارژ ۶ ولت ۷ آمپرساعت (Euronet NP7-12) به ابعاد ۱۵×۹/۴×۶/۵ سانتی‌متر در دو طرف سکو تعبیه شد. پایانه‌های این دو باتری به‌صورت سری به هم متصل هستند و ولتاژ ۱۲ ولت را تولید می‌کنند. مدارات الکترونیکی در برابر جریان‌کشی بیش از حد توسط فیوز محافظت می‌شوند. دو عدد کلید در جعبه تغذیه موجود است که کلید سه‌حالته برای شارژ کردن دستگاه، خاموش کردن کلی و روشن کردن آن است و کلید دوحالته برای خاموش و روشن کردن مجموعه ولتاژ بالا اختصاص داده شده است و همچنین دو عدد کلید فشاری برای راه‌اندازی مجدد میکروکنترلر و ماژول اینترنت اشیاء به‌کار گرفته شده است.

معماری و پیکره‌بندی الکترونیکی

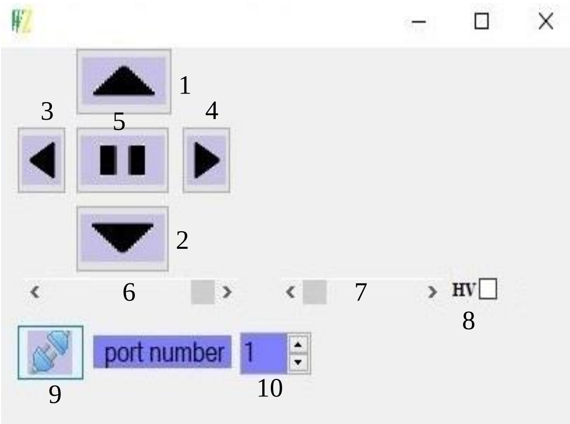
طرح‌واره کلی از معماری تجهیزات و مدار الکتریکی برای نابودگر علف‌هرز در شکل ۵ نشان داده شده است. پردازش و کنترل داده بر عهده میکروکنترلر Atmega328p است. سرعت پردازش داده‌ها در این تراشه توسط کریستال خارجی ۱۶ مگاهرتز تأمین می‌شود. تراشه با بوت لودر[1] هسته آردینو[2] برنامه‌ریزی شد تا عملیات لازم را برای پیشبرد پژوهش انجام دهد. همچنین این تراشه با ماژول اینترنت اشیاء دارای پروتکل ارتباطی سریال است. موتورهای پیشروی به ماژول راه‌انداز (L298N) متصل هستند. تراشه این ماژول از دو عدد پل قدرتی[3] بهره می‌برد. این ماژول با مدولاسیون پهنای پالس[4] به میکروکنترلر متصل است و با پالس دریافتی مقدار ولتاژ اعمالی به موتورها و در نهایت سرعت دورانی آن‌ها را کنترل می‌کند. جهت چرخش را هم با تغییر جهت جریان الکتریکی به موتورها تغییر می‌دهد. بنابراین کنترل سرعت پیشروی و فرمان‌گیری به‌صورت نرم‌افزاری انجام می‌شود. دو عدد سروموتور برای بالابر الکترود هم به‌شیوه مدولاسیون پهنای پالس زاویه چرخش سروموتورها را کنترل می‌کنند تا میله بتواند در ارتفاع‌های مختلف در بالای علف‌های‌هرز قرار گیرد.

1- Bootloader
2- Arduino
3- H-Bridge
4- Pulse Width Modulation (PWM)



شکل ۵– مدار الکتریکی نابودگر علف‌هرز با سازوکار بازخوردی

Fig.5. The circuit of the weed killer with the feedback mechanism



شکل ٦- نرم‌افزار کنترل نابودگر علف هرز با سازوکار بازخوردی (۱- پیشروی به جلو، ۲- پیشروی به عقب، ۳- چرخش به چپ، ۴- چرخش به راست، ۵- توقف پیشروی، ۶- تنظیم سرعت پیشروی، ۷- تنظیم ارتفاع الکترود، ۸- کلید ولتاژ بالا، ۹- اتصال به درگاه سریال، ۱۰- درگاه سریال)

Fig.6. The application for controlling the weed killer with the feedback mechanism (1- Move forward, 2- Move back, 3- Turn left, 4- Turn right, 5- Stop movement, 6- Movement speed, 7- Electrode height, 8- High-voltage switch, 9- Connect to port, 10- Serial port number)

مجموعه ولتاژ بالا جهت راه‌اندازی به یک عدد ماژول رله ۵ ولتی متصل است تا با دریافت دستور از میکرکنترلر، ولتاژ در بین الکترودها ایجاد شود و همزمان مقدار جریان الکتریکی نیز توسط میکروکنترلر دریافت و به رایانه ارسال شود.

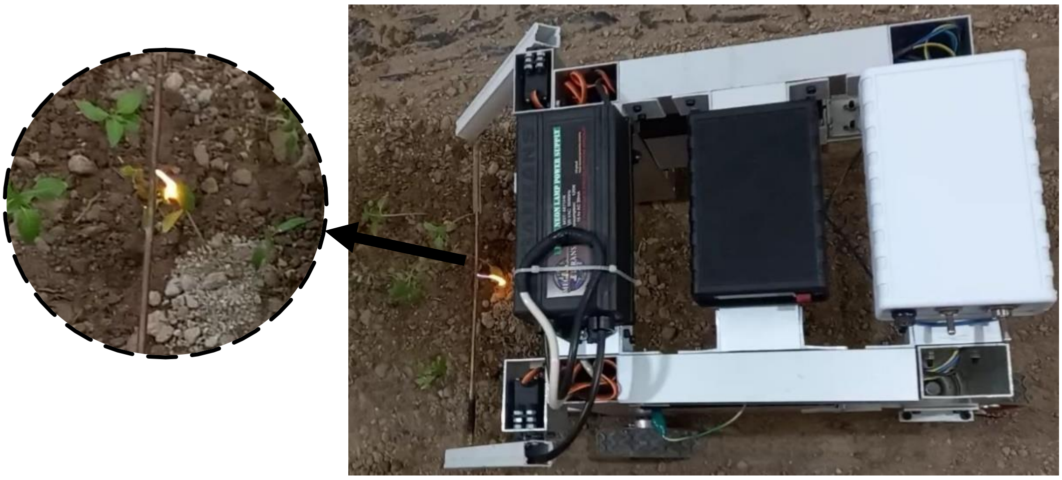
نرم‌افزار کنترل

نرم‌افزاری برای کنترل نابودگر علف‌هرز و تبادل داده‌های آن با رایانه در ویژوال استودیو[1] ۲۰۱۵ طراحی شد (شکل ۶). این نرم‌افزار قابلیت ذخیره داده‌های حاصل از ماژول حسگر جریان را دارد و از طریق وای‌فای رایانه به ماژول اینترنت اشیاء موجود در سامانه متصل است. همچنین ناوبری سکوی خودگردان، فعال‌سازی ولتاژ بالا و تنظیم ارتفاع الکترود از قابلیت‌های دیگر آن است که در انجام آزمایش‌ها مورد بهره‌برداری قرار گرفت

آزمایش سامانه نابودگر علف هرز

آزمایش‌های سامانه در محیط حاوی چندین بوته علف‌هرز جوان انجام شد (شکل ۷). بوته‌های علف هرز از نوع گیاه خرفه و ریحان وحشی بودند (جدول ۱). در گام نخست، آزمایش نابودی علف هرز برای یافتن رابطه بین جریان الکتریکی (I_s) و وجود بوته‌های علف هرز (قبل و بعد از نابودی علف‌های هرز) انجام شد. با تنظیم الکترود در ارتفاع مناسب و پیشروی سامانه در مسیر مستقیم، ولتاژ بالا به بوته‌ها اعمال و داده‌ها حین انجام آزمایش جهت تحلیل در رایانه ذخیره شدند. سرانجام، از داده‌ها برای توسعه و واسنجی سازوکار بازخوردی استفاده شد. پس از آزمایش واسنجی، آزمایشی (۵ تکرار) برای ارزیابی و مقایسه عملکرد نابودی دو حالت استفاده و عدم استفاده از سازوکار بازخوردی انجام شد. در حالت اول، سامانه در یک مسیر مستقیم به کمک سازوکار بازخوردی علف هرز اقدام به حذف علف‌های هرز کرد. به‌طوری که هنگام حرکت سامانه در مسیر آزمایش، با برخورد الکترود ولتاژ بالا به علف‌های هرز جریان الکتریکی افزایش می‌یافت و در این هنگام سازوکار بازخوردی با بررسی تغییرات جریان الکتریکی عبوری از بوته علف هرز، سامانه نابودگر را تا نابودی کامل علف هرز (کاهش جریان الکتریکی به مقدار اولیه) متوقف می‌کرد و سپس سامانه را در پی حذف علف هرزی دیگر حرکت می‌داد. در حالت دوم سامانه بدون اطلاع از نابودی یا عدم نابودی علف هرز با سرعت متوسط (۱/۸ سانتی‌متر بر ثانیه) حالت اول اقدام به حذف علف‌های هرز کرد. در آزمایش‌ها بوته‌های تیمار دیده‌شده ناشی از جریان الکتریسته در صورت توقف رشد بعد از یک هفته به‌عنوان بوته نابود شده در نظر گرفته شد. با توجه به منابع علمی (Derrick, 2017; Khalil, Johnson, & Lamar, 2005; Zwietering, Jongenburger, Rombouts, & Van't Riet, 1990)، برای مقایسه میانگین‌های مربوط به تعداد بوته‌های نابود شده در دو حالت آزمایش (استفاده و عدم استفاده از سازوکار بازخوردی) از آزمون آماری t در سطح معنی‌داری ۱٪ استفاده شد.

1- Visual Studio



شکل ۷- محیط آزمایش‌ها، نابودگر علف هرز با سازوکار بازخوردی در حال نابودی علف هرز
Fig.7. Test environment, the weed killer with the feedback mechanism killing weeds

جدول ۱- مشخصات علف‌های هرز آزمایش‌شده توسط نابودگر هرز با سازوکار بازخوردی
Table 1- Properties of the tested weeds by the weed killer with the feedback mechanism

ویژگی‌ها Properties	انواع علف‌های هرز Type of weeds	
	خرفه *Portulaca oleracea*	ریحان وحشی *Clinopodium vulgare*
متوسط ارتفاع Mean height (cm)	9	8
متوسط تعداد برگ‌ها Mean number of leaves	8	6

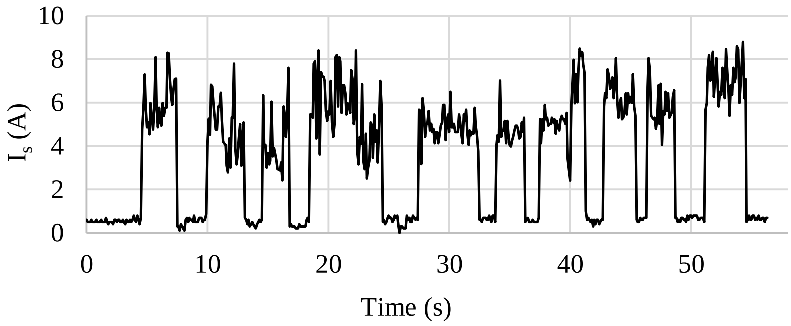
نتایج و بحث

رابطه‌یابی و واسنجی

نمودار عملی از داده‌های دریافتی حسگر جریان الکتریکی در زمان نابودی علف‌های هرز برای ۱۰ عدد بوته (شامل ۱۰ ناحیه اوج) در شکل ۸ نشان داده شده است. این نمودار نشان می‌دهد مقدار تغییرات جریان الکتریکی (I_s) با وجود علف‌های هرز در ارتباط است و با نزدیک شدن الکترود ولتاژ بالا به علف‌های هرز و تشکیل قوس الکتریکی مقدار جریان افزایش پیدا کرده و به مقدار بیشینه رسیده است. با اعمال انرژی الکتریکی زیاد، خاک و هوا به‌دلیل توان الکتریکی تحملی بالا، از صدمه در امان و همیشه رسانای الکتریکی بودند ولی بوته علف هرز به دلیل توان تحملی محدود، همچون مقاومت الکتریکی کم‌توان دمایش بالا رفته و باعث شده آب زیست‌توده‌ها تبخیر و بافت علف هرز تخریب شود. در نهایت ساختار درونی بوته علف هرز نابود و از مدار خارج شده و جریان الکتریکی در حسگر به حد ناچیز نزول پیدا کرده است. طبق نمودار مقدار عددی هر قله[1] مربوط به تغییرات جریان الکتریکی و همچنین طول زمانی آن به جثه هر بوته بستگی دارد که مقدار بیشتر قله نشان از بزرگی جثه (مقاومت الکتریکی کمتر) آن بوته دارد.

تعدادی داده از نمودار شکل ۸ برای ۱۰ عدد بوته علف هرز در جدول ۲ استخراج شده است. در فرآیند نابودی علف‌های هرز، مدت زمانی که جریان الکتریکی در اوج بوده است برابر با زمان (T_a) مورد نیاز برای نابودی هر علف هرز است. همچنین در زمان نابودی هر علف هرز، کمترین مقدار جریان الکتریکی I_s در متغیر I_a قرار گرفته است که کمترین مقدار جریان عبوری از هر علف هرز را به هنگام اعمال ولتاژ بالا نشان می‌دهد. حداکثر مقدار T_a و حداقل مقدار I_a برای همه علف‌های هرز مورد آزمایش به‌ترتیب در متغیرهای T_{mxa} و I_{mna} به‌دست آمد. متغیر مربوط به جریان الکتریکی مبنایی برای تشخیص نابودی علف هرز و واسنجی آن و متغیر مربوط به زمان برای جلوگیری از اتلاف توان و ایجاد ایمنی است تا در صورت عاجز بودن سامانه از نابودی بوته (مثلاً اندام بوته خیلی بزرگ‌تر باشد)، بوته بعدی مورد هدف قرار گیرد.

1- Peak



شکل ۸- نمودار تغییرات جریان الکتریکی در زمان نابودی علف‌های هرز توسط نابودگر علف هرز با سازوکار بازخوردی

Fig.8. The graph of electric current changes versus time during weeds being killed by the weed killer with the feedback mechanism

جدول ۲- داده‌های جریان الکتریکی و زمانی نابودی علف‌های هرز

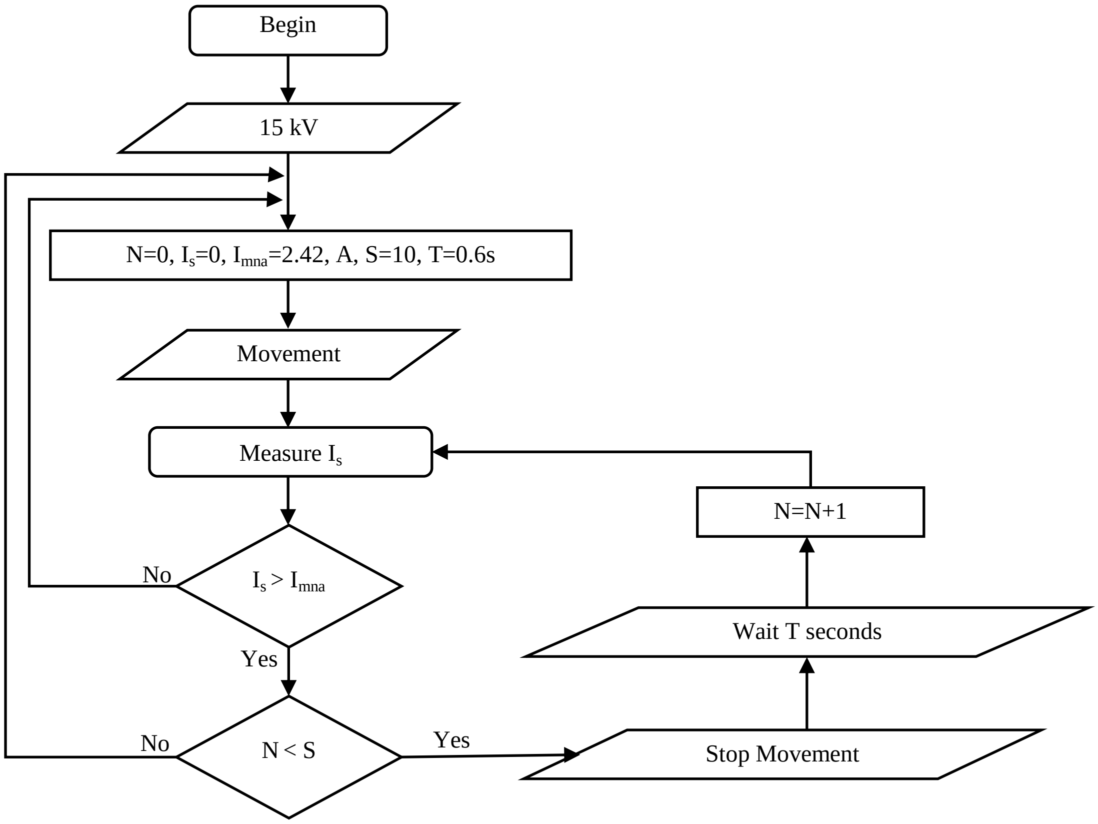
Table 2- Electric current and time data of weeds killing

No	T_a (s)	T_{mxa} (s)	I_a (A)	I_{mna} (A)
1	2.9		4.54	
2	3.1		2.79	
3	2.2		2.42	
4	6		2.5	
5	5	6	3.17	2.42
6	2.4		3.98	
7	3.8		2.42	
8	2.7		5.24	
9	2.3		4.05	
10	3.4		5.39	

با استفاده از داده‌های استخراجی مربوطه به جریان الکتریکی و متغیر زمانی (جدول ۲)، یک برنامه کاری (شکل ۹) برای سامانه نابودگر توسعه داده شد. با توجه به ساختار این برنامه، هنگام شروع، ولتاژ بالا روی الکترودها فعال می‌شود و متغیرها مقداردهی می‌شوند. سپس سامانه در یک مسیر مستقیم پیشروی می‌کند و حسگر جریان مقدار I_s را اندازه‌گیری می‌کند. اولین شرط ($I_s>I_{mna}$) برای وجود علف‌هرز بررسی می‌شود و با درست بودن شرط (وجود علف‌هرز)، شرط دوم ($N<S$) از نظر سرریز زمانی بررسی می‌شود و اگر درست باشد (تمام نشدن زمان اختصاصی برای اعمال ولتاژ بالا)، سامانه برای T ثانیه متوقف می‌شود و در طی این زمان علف‌هرز تحت تاثیر ولتاژ بالا قرار می‌گیرد. با تکرار چرخه، علف هرز از بین می‌رود یا سرریز زمانی ($T_{mxa} = S\times T$) تمام می‌شود. بنابراین، یکی از این دو شرط برآورده نمی‌شود و برنامه کاری مجدداً به ابتدا برمی‌گردد، متغیرها مقداردهی می‌شوند و سامانه اجازه می‌یابد تا دوباره برای شناسایی و نابودی بوته دیگر حرکت کند.

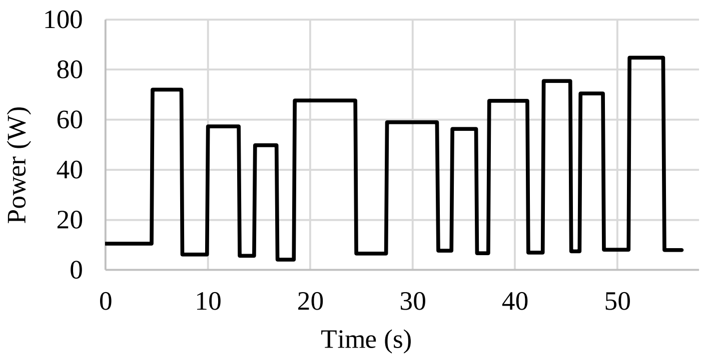
توان و انرژی مصرفی برای نابودی علف‌های هرز

با میانگین‌گیری داده‌های جریان الکتریکی مربوط به نواحی اوج نابودی علف هرز و نواحی عدم نابودی علف هرز و ضرب آن‌ها در مقدار ۱۲ ولت نمودار توان مصرفی تشکیل شد (شکل ۱۰). در این نمودار، توان مصرفی بین مقدار عددی ۵۰ تا ۸۵ وات و همچنین توان متوسط استخراجی ۴۳ وات محاسبه شده است. با توجه به این‌که حداکثر توان ترانس افزاینده ۱۲۵ وات است اعداد استخراجی معقول به نظر می‌رسند. نمودار انرژی حاصل از شکل ۱۰ در شکل ۱۱ نشان داده شده است. بیشترین مقدار انرژی ۴۲۶/۵ ژول و کمترین مقدار انرژی ۱۱۰ ژول به‌دست آمد. مقدار متوسط انرژی مصرفی برای نابودی یک بوته علف هرز ۲۴۶ ژول با انحراف معیار ۹۲/۳۳ ژول است. در حالت ایده‌آل، بوته دارای جثه بزرگ‌تر (مانند سیم رسانای قطورتر) جریان الکتریکی بیشتری را از خود عبور می‌دهد و انرژی بیشتری را مصرف می‌کند. تغییرات قله‌های انرژی برای بوته‌های مختلف نیز گویای همین اصل قانون اهم است. با توجه به تفاوت عددی قله‌های انرژی در نمودار، به نظر می‌رسد وجود یک متغیر سرریز زمانی بازدارنده برای جلوگیری از اتلاف زمان و انرژی برای بوته‌های خارج از توان سامانه ضروری است تا سامانه معطل نابودی آن بوته نشود و بوته‌های بعدی را مورد هدف قرار دهد که البته این متغیر سرریز زمانی در برنامه کاری سامانه اعمال شده است.



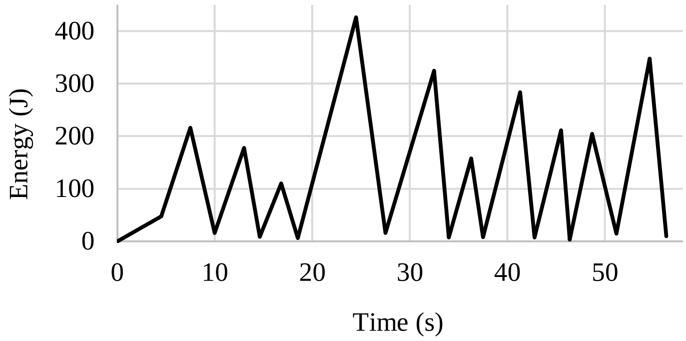
شکل ۹– برنامه کاری برای نابودگر علف هرز با سازوکار بازخوردی

Fig.9. Working program for the weed killer with the feedback mechanism



شکل ۱۰– نمودار توان مصرفی برای نابودی علف‌های هرز توسط نابودگر علف هرز با سازوکار بازخوردی

Fig.10. The graph of consumption power for weeds being killed by the weed killer with the feedback mechanism



شکل ۱۱- نمودار مصرف انرژی برای نابودی علف‌های هرز توسط نابودگر علف هرز با سازوکار بازخوردی

Fig.11. The graph of consumption energy for weeds being killed by the weed killer with the feedback mechanism

ارزیابی سامانه بازخوردی

در جدول ۳ نتایج حاصل از آزمایش مقایسه دو حالت کاری بدون بازخوردی و بازخوردی در ۵ تکرار و برای هر تکرار ۳۰ بوته علف هرز ارائه شده است. برای پی بردن به معنی‌دار بودن تعداد بوته‌های نابود شده دو حالت کاری و اثبات برتری روش بازخوردی به بدون بازخوردی نتایج آماری آزمون تی در جدول ۴ استخراج شده است.

جدول ۳- تعداد بوته نابود شده در حالت‌های کاری سامانه نابودگر علف هرز با سازوکار بازخوردی

Table 3- Number of killed weeds in the operating modes of the weed killer with the feedback mechanism

شماره No.	تعداد بوته مرده Number of killed weeds	
	حالت با بازخورد Feedback	حالت بدون بازخورد Non feedback
1	27	19
2	24	23
3	23	17
4	28	18
5	24	21

جدول ٤- مقایسه آماری حالت‌های کاری سامانه نابودگر علف هرز با سازوکار بازخوردی

Table 4- Statistical comparison of the operating modes of the weed killer with the feedback mechanism

نوع آزمایش Type of test	Mean	SD	t	df	Sig (2-tailed)
بدون بازخورد Non-feedback	19.6	2.41	3.86	8	0.005
بازخورد Feedback	25.2	2.17			

مقدار ۰/۰۰۵ در قسمت Sig (2-tailed) کمتر از ۰/۰۱ است و یعنی بین دو حالت کاری، با ۹۹٪ اختلاف معناداری وجود دارد. بنابراین حالت کاری بازخوردی (۲/۱۷ ± ۲۵/۲ عدد بوته) نسبت به حالت کاری بدون بازخوردی (۲/۴۱ ± ۱۹/۶ عدد بوته) در نابودی علف‌های هرز موثرتر است؛ t(۸)=۳/۸۶، P <۰/۰۱. این نتایج نشان می‌دهد که استفاده از یک سازوکار بازخوردی نه‌تنها به پایش سامانه نابودگر کمک می‌کند بلکه در بهبود عملکرد آن و شدت عمل نابودی میسر است. سامانه بازخوردی توسعه‌یافته برای این پژوهش، با اندازه‌گیری جریان الکتریکی از ماهیت درونی و رطوبت گیاه مورد هدف آگاهی پیدا می‌کند و به ماهیت ظاهری گیاه وابسته نیست. در حالی که اگر از سازوکار آونگ مکانیکی، فراصوتی و یا لیدار برای توسعه سازوکار بازخوردی نابودگر علف هرز استفاده می‌شد. تنها ماهیت ظاهری گیاه مورد قضاوت بود و به رطوبت گیاه و خشک بودن آن عکس‌العملی نشان داده نمی‌شد و حتی باعث می‌گردید اجسام غیرزنده نیز به‌عنوان بوته زنده مورد هدف قرار گیرند و در نتیجه موجب اتلاف انرژی و زمان شود. از طرفی روش اندازه‌گیری

جریان الکتریکی در مقایسه با روش‌های طیف‌سنجی و ماشین بینایی از ماهیت سخت‌افزاری و نرم‌افزاری ساده‌تری برخوردار است و پردازش داده‌ها هم به‌راحتی میسر است و زمان پاسخ‌دهی آن نیز کمتر است. بدیهی است هرچه‌قدر سامانه دارای اجزای کمتری باشد هزینه اولیه و تعمیر کمتری نیاز خواهد داشت.

مقایسه نابودگر علف هرز دارای سازوکار بازخوردی با سایر روش‌ها

با توجه به پژوهش‌های بررسی شده و آزمایش‌های انجام شده در این پژوهش، جدول ۵ برای مقایسه انواع روش‌های نابودی علف هرز تشکیل شده است. این مقایسه نشان می‌دهد که نابودگر ولتاژ بالا دارای سازوکار بازخوردی برخلاف روش‌های شیمیایی و زیستی سرعت اثر بالایی دارد. این روش تقریباً نسبت به تمامی روش‌ها به‌جز روش شیمیایی از بازده بالایی برخوردار است و همچنین پیاده‌سازی آن در مقایسه با روش‌های شیمیایی، زیستی و امواج الکترومغناطیسی پیچیدگی بالایی ندارد. اثر جانبی شامل آلودگی زیست‌محیطی و تاثیر سوء روش مورد استفاده بر محصول اصلی از دیگر متغیرهایی است که این پژوهش را از روش‌های شیمیایی، زیستی، حرارتی و امواج الکترومغناطیسی تفکیک می‌کند و برتری آن را نمایان می‌سازد.

جدول ۵- مقایسه نابودگر ولتاژ بالا علف هرز دارای سازوکار بازخوردی با سایر روش‌ها

Table 5- Comparison of the high-voltage weed killer with feedback mechanism with other methods

روش **Method**	عملکرد سریع **Fast performance**	بازده بالا **High efficiency**	پیچیده **Complex**	اثر جانبی **Side effect**
شیمیایی Chemical	No	Yes	Yes	Yes
زیستی Biological	No	No	Yes	Yes
مکانیکی Mechanical	Yes	No	No	No
حرارتی Thermal	Yes	No	No	Yes
امواج الکترومغناطیسی Electromagnetic waves	Yes	No	Yes	Yes
لیزری Laser	Yes	No	No	No
ولتاژ بالا High-voltage	Yes	No	No	No
ولتاژ بالا بازخوردی High-voltage with feedback	Yes	Yes	No	No

در این پژوهش، وجود سازوکار بازخوردی سبب شد قابلیت‌ها و نتایج متمایزی نسبت به سایر پژوهش‌های ولتاژ بالا نابودگر علف‌هرز ایجاد شود. در این سامانه جدید با به‌کارگیری ولتاژ ۱۵ کیلوولت، پایش جریان مصرفی و تشخیص نابودی بوته، انرژی و زمان برای نابودی علف‌های هرز به‌صورت بهینه مدیریت شد و باعث شد زمان نابودی از مقادیر بالاتر ۱۰۰ ثانیه در پژوهش (Sahin & Yalınkılıc, 2017) به مقادیر پایین‌تر از ۱۰ ثانیه در این پژوهش نزول کند. همچنین نرخ متوسط کنترل علف هرز با کمک سامانه بازخوردی در این پژوهش ۸۴٪ ($\frac{۲۵,۲}{۳۰}$) حاصل شد، در حالی‌که این نرخ در پژوهش (Diprose *et al.*, 1984) زیر مقدار ۵۰٪ گزارش شده بود و همچنین در پژوهش (Blasco *et al.*, 2002) سامانه گرچه در نابودی علف‌های هرز در مرحله رشد پنج برگی به‌طور کامل عمل کرده بود ولی برای بوته‌های بزرگ‌تر فقط به برگ‌ها آسیب رسانده و از نابودی کامل آن‌ها عاجز مانده بود. حداکثر توان الکتریکی مصرفی در این پژوهش ۸۵ وات برآورد شد که در مقایسه با حداکثر توان مصرفی ۳۳۰ وات در پژوهش (Brighenti & Brighenti, 2009) مقدار کمتری را به خود اختصاص داد. برابری مقدار ولتاژ اعمالی در پژوهش‌های (Diprose *et al.*, 1984) و (Blasco *et al.*, 2002) با این پژوهش و بررسی نتایج نابودی علف‌های هرز در پژوهش‌های مرتبط با ولتاژ بالا نشان می‌دهد که نقصان این سامانه‌ها بیشتر به دلیل عدم امکان تشخیص برخط بوته‌های نابود شده بود نه مقدار ولتاژ اعمالی به آن‌ها، به‌طوری که حتی برآورد تعداد نابودی بوته‌ها نیز توسط سامانه‌ها مهیا نشد.

نتیجه‌گیری

انرژی الکتریکی یک روش غیرشیمیایی و دوست‌دار محیط‌زیست برای نابودی علف‌های هرز است. بنابراین بهتر است در حد ممکن از این انرژی به‌صورت کنترل‌شده برای از بین بردن علف‌های هرز استفاده شود. در این پژوهش مشخص شد که سنجش جریان الکتریکی در ورودی سامانه نابودگر ولتاژ بالا علف هرز روشی ساده و کم‌هزینه برای ایجاد سازوکار بازخوردی جهت تشخیص علف هرز و نابودی آن است که شدت اثر نابودی علف هرز نیز را افزایش می‌دهد و همچنین عملکرد آن را پایش می‌کند. اگر این پژوهش مانند پژوهش‌های قبلی نابودگر ولتاژ بالا علف هرز مانند (Diprose et al., 1984)، (Blasco et al., 2002)، (Brighenti & Brighenti, 2009) و (Sahin & Yalınkılıc, 2017) بدون سامانه بازخورد بود، مشخص نمی‌شد که در حین عملیات بوته نابود شده است یا نه و باعث می‌شد انرژی و زمان بدون کنترل به هدف اعمال و اتلاف شود یا حتی اعمال ناکافی انرژی به بوته سبب عدم نابودی آن می‌شد. بنابراین وجود سازوکار بازخوردی برای نابودگر علف هرز یک ضرورت محسوب می‌شود. پیشنهاد می‌شود برای پژوهش‌های آتی در شرایط مزرعه‌ای، از یک افزاینده ولتاژ بالا با ظرفیت توان بالا و سازوکار هدایت خودکار استفاده شود تا سرعت پیشروی برای نابودی علف هرز و عرض‌کاری آن افزایش یابد. همچنین با توجه به خطرات برق‌گرفتگی ناشی از ولتاژ بالا استفاده از تجهیزات کنترل و سنجش از راه دور همیشه در اولویت قرار گیرد.

References

1. Astatkie, T., Rifai, M., Havard, P., Adsett, J., Lacko-Bartosova, M., & Otepka, P. (2007). Effectiveness of hot water, infrared and open flame thermal units for controlling weeds. *Biological Agriculture & Horticulture*, *25*, 1-12. https://doi.org/10.1080/01448765.2007.10823205
2. Birrell, S., Hughes, J., Cai, J. Y., & Iida, F. (2020). A field-tested robotic harvesting system for iceberg lettuce. *Journal of Field Robotics*, *37*, 225-245. https://doi.org/10.1002/rob.21888
3. Blasco, J., Aleixos, N., Roger, J., Rabatel, G., & Moltó, E. (2002). AE-Automation and emerging technologies: Robotic weed control using machine vision. *Biosystems Engineering*, *83*, 149-157. https://doi.org/10.1006/bioe.2002.0109
4. Bond, W., & Grundy, A. (2001). Non-chemical weed management in organic farming systems. *Weed Research*, *41*, 383-405. https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2001.00246
5. Brighenti, A. M., & Brighenti, D. M. (2009). Weed control in organic soybean using electrical discharge. *Ciência Rural*, *39*(8), 315-2319. https://doi.org/10.1590/S0103-84782009000800007
6. Derrick, B. (2017). How to compare the means of two samples that include paired observations and independent observations: A companion to Derrick, Russ, Toher and White (2017). *The Quantitative Methods for Psychology*, *13*, 120-126. https://doi.org/10.20982/tqmp.13.2.p120
7. Diprose, M., Benson, F., & Willis, A. (1984). The effect of externally applied electrostatic fields, microwave radiation and electric currents on plants and other organisms, with special reference to weed control. *The Botanical Review*, *50*, 171-223. https://doi.org/10.1007/BF02861092
8. Dworak, V., Selbeck, J., Dammer, K. H., Hoffmann, M., Zarezadeh, A. A., & Bobda, C. (2013). Strategy for the development of a smart NDVI camera system for outdoor plant detection and agricultural embedded systems. *Sensors*, *13*, 1523-1538. https://doi.org/10.3390/s130201523
9. Ehlert, D., Hammen, V., & Adamek, R. (2003). On-line sensor pendulum-meter for determination of plant mass. *Precision Agriculture*, *4*, 139-148. https://doi.org/10.1023/A:1024553104963
10. Khalil, M., Johnson, T., & Lamar, C. (2005). Comparison of computer-based and paper-based imagery strategies in learning anatomy. Clinical Anatomy: *The Official Journal of the American Association of Clinical Anatomists and the British Association of Clinical Anatomists*, *18*, 457-464. https://doi.org/10.1002/ca.20158
11. Legg, M., & Bradley, S. (2020). Ultrasonic Arrays for Remote Sensing of Pasture Biomass. *Remote Sensing*, *12*, 111. https://doi.org/10.3390/rs12010111
12. Marx, C., Barcikowski, S., Hustedt, M., Haferkamp, H., & Rath, T. (2012). Design and application of a weed damage model for laser-based weed control. *Biosystems Engineering*, *113*, 148-157. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.07.002
13. Morin, L. (2020). Progress in Biological Control of Weeds with Plant Pathogens. *Annual review of phytopathology*, *58*. https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-010820-012823
14. Paap, A. J. (2014). Development of an optical sensor for real-time weed detection using laser based spectroscopy. [Doctoral dissertation, Edith Cowan University]. https://ro.ecu.edu.au/theses/1282
15. Peltzer, S., Hashem, A., Osten, V., Gupta, M., Diggle, A., Riethmuller, G., Douglas, A., Moore, J., & Koetz, E. (2009). Weed management in wide-row cropping systems: a review of current practices and risks for Australian farming systems. *Crop and Pasture Science*, *60*, 395-406. https://doi.org/10.1071/CP08130

16. Rask, A. M., & Kristoffersen, P. (2007). A review of non-chemical weed control on hard surfaces. *Weed Research, 47*, 370-380. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2007.00579.x
17. Sahin, H., & Yalınkılıc, M. (2017). Using Electric Current as a Weed Control Method. *European Journal of Engineering Research and Science, 2*, 59-64. https://doi.org/10.24018/ejers.2017.2.6.379
18. Slaughter, D., Giles, D., & Downey, D. (2008). Autonomous robotic weed control systems: A review. *Computers and Electronics in Agriculture, 61*, 63-78. https://doi.org/10.1016/j.compag.2007.05.008
19. Utstumo, T., Urdal, F., Brevik, A., Dørum, J., Netland, J., Overskeid, Ø., Berge, T. W., & Gravdahl, J. T. (2018). Robotic in-row weed control in vegetables. *Computers and Electronics in Agriculture, 154*, 36-45. https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.08.043
20. Vigneault, C., & Benoît, D. L. (2001). *Electrical weed control: theory and applications*. Pages 174-188. Physical control methods in plant protection, Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-04584-8_12
21. Yuan, W., Li, J., Bhatta, M., Shi, Y., Baenziger, P. S., & Ge, Y. (2018). Wheat height estimation using LiDAR in comparison to ultrasonic sensor and UAS. *Sensors, 18*, 3731. https://doi.org/10.3390/s18113731
22. Zwietering, M., Jongenburger, I., Rombouts, F., & Van't Riet, K. (1990). Modeling of the bacterial growth curve. *Applied and Environmental Microbiology, 56*, 1875-1881. https://doi.org/10.1128/AEM.56.6.1875-1881.1990